

UO'K 004.93

NEQR MODELIDA TASVIRNI KVANT FORMATGA O'TKAZISH

+ Sobirov R.A.¹, Muxamediyeva D.T.¹, Bobomurodov O.J.²¹“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti”

Milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

²Qozon Federal universiteti, Qozon, Rossiya Federatsiyasi

+ sruzimboy44@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada klassik tasvirlarni kvant kompyuterlarida qayta ishlash uchun mo‘ljallangan NEQR (Novel Enhanced Quantum Representation) modeli keng yoritiladi. NEQR tasvir piksellarini amplituda orqali emas, balki to‘g‘ridan-to‘g‘ri binar kubit qiymatlari (bit to bit) tarzida kodlaydi. Mazkur yondashuv tasvirni aniq ifodalash, kontur ajratish, o‘rtacha qiymatlarni hisoblash, histogram qurish kabi vazifalar uchun juda qulay bo‘lib, kvant parallelizmi orqali hisoblash jarayonini bir necha marta tezlashtiradi. Maqolada NEQR ning matematik asoslari, algoritmik tarkibi, qubitlar manzillanishi, hamda real tasvir misolida NEQR formatini shakllantirish bosqichlari ko‘rib chiqiladi.

Kalit so‘zlar: tasvir, kvant tasvir, piksel, NEQR, FRQI, CNOT geyti, superpozitsiya, qubit, machine learning, intensivlik.

1 KIRISH

So‘nggi yillarda kvant texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida axborotni kvant tarzda qayta ishlashga bo‘lgan qiziqish kuchayib bormoqda. Tasvirlarni qayta ishlash yo‘nalishi ham bundan mustasno emas. Klassik kompyuterlar tasvirlarni piksel qiymatlari, intensivlik va rang testlari asosida saqlaydi hamda qayta ishlaydi. Biroq tasvir hajmining ortib borishi, real vaqt rejimida yuqori aniqlikdagi tasvirlar bilan ishlash ehtiyoji klassik yondashuvning samaradorligini cheklaydi [1].

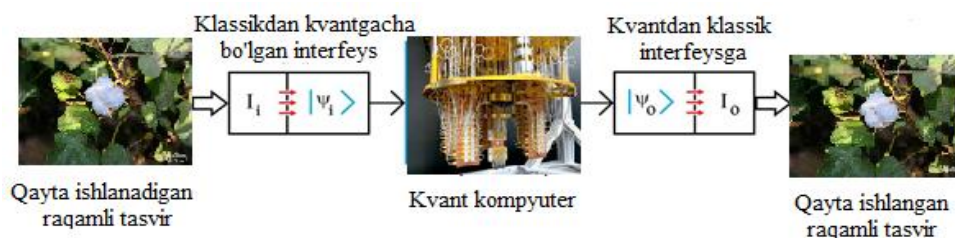
Kvant tasvir modellaridan biri – NEQR tasvirni kvant holatlarida ifodalash imkonini beradi. NEQR modeli tasvir piksel qiymatlarini amplituda yoki fazaga kodlashdan farqli olaraq, raqamli (binary) kodlashdan foydalanadi. Bu esa tasvirni qayta tiklashni ancha soddalashtiradi va potensial ravishda kvant algoritmlarining barqaror ishlashiga yordam beradi [3].

Mazkur maqolada NEQR modelining matematik asoslari, tasvirni kvant formatga o‘tkazish bosqichlari hamda ushbu modelning afzalliklari va cheklavlari tahlil qilinadi.

2 ADABIYOTLAR TAHLILI

Klassik kompyuterlarda tasvirlar har bir piksel qiymati bilan ifodalangan raqamlar matrisi sifatida saqlanadi. Tasvirlarni turli shakllarda ko‘rsatish mumkin: piksel qiymatlari massivlari yoki piksel intensivliklarini aks ettiruvchi ko‘p o‘lchovli grafiklar sifatida. Rangli tasvirlar odatda RGB kanallari bilan, kulrang tasvirlar 0 (qora) dan 255 (oq) gacha bo‘lgan qiymatlar bilan, va binar tasvirlar esa faqat 0 yoki 1 qiymatlarini oladi. Bu yondashuv klassik tasvir qayta ishlash jarayonining asosiy nazariy bazasini tashkil etadi [1].

Kvant hisoblash texnologiyalarida tasvirlarni normalizatsiyalangan kvant holatlarida ifodalash imkoniyati mavjud.



1-rasm. Kvant tasvirini qayta ishlash sxemasi (QIMP)

Bu yondashuv tasvirlarni qayta ishlash jarayonini soddalashtiradi va filtrlar, segmentatsiya, histogram hisoblash kabi turli algoritmlarni samarali bajarishga yordam beradi. Shu sababli, kvant tasvir qayta ishlash kvant texnologiyalari vositalari orasida eng istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi [1].

Tasvirni kvant formatga o'tkazish (QIR-Quantum Image Representation) uchun quyidagi usullar taklif qilingan:

Qubit Lattice modeli. Venegas-Andraca va Bose tomonidan 2003-yilda taklif qilingan bo'lib, u tasvirning fazoviy (spatial) ma'lumotlarini har bir pikselni alohida qubitga moslashtirish orqali ifodalaydi [3]. Ushbu modelda kvantning superpozitsiya yoki o'zaro chalkashtirish (entanglement) kabi xususiyatlari qo'llanilmaydi. Natijada, tasvirni ifodalash uchun piksellar soniga teng miqdordagi qubitlar talab etiladi, bu esa uni katta o'lchamli tasvirlar uchun amaliy jihatdan samaradorligini pasaytiradi [2].

Ushbu yondashuv klassik tasvirlarning kvantga o'xshash (quantum-analog) ko'rinishda ifodalanishini nazarda tutadi. Ya'ni, tasvirdagi i^{th} -qatoridagi va j^{th} -ustundagi piksel qiymati uning fazoviy manziliga mos ravishda kvant holatiga joylashtiriladi. Shunday qilib, har bir piksel qiymati o'zining koordinatalari bilan birga kvant registrida saqlanishi mumkin bo'ladi [2]:

$$|pixel_{i,j}\rangle = \left(\cos\left(\frac{\theta_{i,j}}{2}\right)|0\rangle + \sin\left(\frac{\theta_{i,j}}{2}\right)|1\rangle\right).$$

Flexible Representation of Quantum Images (FRQI). Le va boshqalar tomonidan taklif qilingan FRQI [4] har bir pikselning kulrang shkala qiymatini amplitudaga moslashtiradi, shuningdek, tasvirdagi mos keladigan pozitsiyalarni ushlaydi va ularni kvant holatiga integratsiya qiladi [5].

FRQI modelining matematik ifodasi quydagicha tasvirlanadi:

$$|I(\theta)\rangle = \frac{1}{2^n} \sum_{i=0}^{2^n-1} (\sin(\theta_i)|0\rangle + \cos(\theta_i)|1\rangle)|i\rangle,$$

bu yerda θ_i tegishli pozitsiyaning $|i\rangle$ piksel qiymatini kodlaydi [13].

FRQI modeli tasvirni kvant holatida normalizatsiyalangan superpozitsiya ko'rinishida ifodalaydi. Kvant superpozitsiyasi tufayli tasvirning fazoviy va intensivlik ma'lumotlari ixcham kodlanadi, natijada tasvirni ifodalash uchun zarur bo'lgan kvant fazosi hajmi klassik tasvirdagiga nisbatan eksponentsial darajada kamayadi. Ushbu modelning samaradorligini oshirish maqsadida Li va Khan tomonidan FRQI modelining yaxshilangan versiyalari – FRQCI va IFRQI kabi takomillashtirilgan kvant tasvir modellari ishlab chiqilgan [2].

Zhang va boshqalar tomonidan taklif qilingan Novel Enhanced Quantum Representation (NEQR) modelida tasvirning har bir pikseli uchun yorqinlik qiymati qubit ketma-ketligining asosiy holatlarida (ya'ni, klassik 0/1 bitlar kabi) saqlanadi [14]. Bu yondashuv FRQI modelidan farq qiladi, chunki FRQI piksel intensivligini qubitning amplituda parametriga kodlaydi. Zhang tomonidan taklif etilgan ushbu model piksel qiymatlarini aniq raqamli ko'rinishda ifodalash imkonini berib, tasvirni tiklash jarayonini soddalashtiradi [3].

NEQR modelida tasvirni ifodalash jarayonida har bir pikselning intensivlik (yoki rang) qiymati $|f(y,x)\rangle$ ko'rinishida beriladi va u pikselning fazoviy manzili $|yx\rangle$ bilan kvant chalkashtirish (entanglement) orqali bog'lanadi. Shu tariqa, tasvirdagi barcha piksel ma'lumotlari kvant holatida birgalikda saqlanadi. NEQR modelining $2^n \times 2^n$ o'lchamli tasvirlar uchun kvant ko'rinishi quyidagi umumiy formula orqali ifodalanadi [4]:

$$|I\rangle = \frac{1}{2^n} \sum_{y=0}^{2^{2n}-1} \sum_{x=0}^{2^{2n}-1} |f(y,x)\rangle |yx\rangle,$$

bu yerda $f(y,x)$ funksiyasi tasvirdagi y -qator va x -ustunda joylashgan pikselning intensivlik (yorqinlik) qiymatini ifodalaydi. Ushbu qiymatlar NEQR modelining kvant holatiga kodlanadigan asosiy ma'lumotlar hisoblanadi [2].

NEQR modeli rang qiymatlarini raqamli ko'rinishda qubitlar orqali kodlash imkoniyati tufayli FRQI modeliga nisbatan murakkab rang amallarini ancha qulay bajaradi. Ushbu model kvant tasvirini tayyorlash bosqichida kvadratik tezlashuvga erishadi va tasvirni kvant ko'rinishidan aniq holda qayta tiklashni ta'minlaydi. Biroq, NEQR tasvirni ifodalash jarayonida ko'proq qubitlar talab qiladi, bu esa katta o'lchamdagi tasvirlar uchun resurs sarfini oshiradi [5]. Mazkur cheklovni yumshatish maqsadida NEQR ning bir nechta takomillashtirilgan variantlari – Improved NEQR (INEQR), Generalized NEQR (GNEQR) va CQIR modellari – ishlab chiqilgan.

3 METODOLOGIYA

Tasvirni kvant formatga o'tkazishda FRQI kvant tasvir modelini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, uning asosiy afzalligi barcha piksellar joylashuvini qubit ketma-ketligining superpozitsiyasi orqali kodlashda yotadi, bu esa barcha piksellarga bir vaqtning o'zida amallar bajarishni ta'minlaydi. Biroq, FRQI modelining kamchiligi shundaki, har bir pikselning kulrang qiymati faqat bitta qubit orqali (2) ifodalanadi. Ushbu cheklovni bartaraf etish maqsadida NEQR modeli ikkita bog'langan qubit ketma-ketligini ishlatadi: biri pikselning kulrang qiymatini, ikkinchisi esa uning fazoviy joylashuvini saqlaydi. Natijada, butun tasvir ushbu ikki ketma-ketlik superpozitsiyasida aniq va samarali tarzda ifodalanadi [5].

Tasvirning kulrang diapazoni 2^q bo'lsa, har bir piksel (Y, X) qiymati ikkilik (binary) ketma-ketlik orqali kodlanadi [12]:

$$C_{YX}^0 C_{YX}^1 \dots C_{YX}^{q-2} C_{YX}^{q-1}. \tag{1}$$

Bu ketma-ketlik pikselning kulrang qiymatini $f(Y, X)$ sifatida ifodalaydi. Shu tarzda, NEQR modeli har bir piksel intensivligini aniq raqamli ko'rinishda kvant registrida saqlash imkonini beradi.

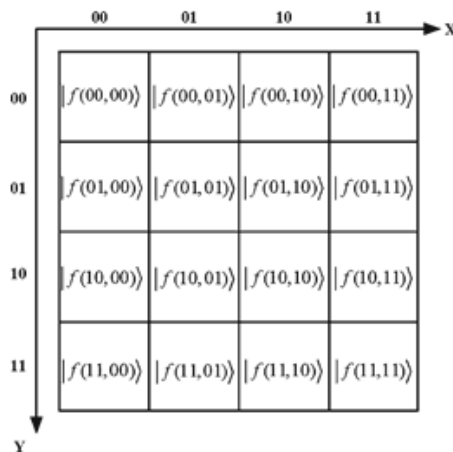
$$f(Y, X) = C_{YX}^0 C_{YX}^1 \dots C_{YX}^{q-2} C_{YX}^{q-1}, C_{YX}^k \in [0,1], f(Y, X) \in [0, 2^q - 1]. \tag{2}$$

Kvant tasvirning representativ ifodasi $2^n \times 2^n$ o'lchamdagi tasvir uchun quyidagi formula bilan berilishi mumkin [1]:

$$|I\rangle = \frac{1}{2^n} \sum_{Y=0}^{2^n-1} \sum_{X=0}^{2^n-1} |f(Y, X)\rangle |YX\rangle = \frac{1}{2^n} \sum_{Y=0}^{2^n-1} \sum_{X=0}^{2^n-1} \bigotimes_{i=0}^{q-1} |C_{YX}^i\rangle |YX\rangle, \tag{3}$$

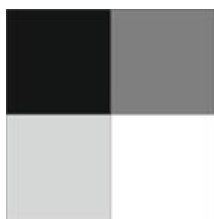
bu yerda $|f(Y, X)\rangle$ – pikselning kulrang qiymatini, $|YX\rangle$ esa uning koordinatalarini bildiradi. Shu tarzda, NEQR modeli tasvirni kvant holatida aniq va samarali tarzda ifodalaydi [3].

2-rasmda 4×4 o'lchamdagi NEQR kvant tasvirida har bir piksel (Y, X) uchun kulrang qiymat $f(Y, X)$ qubit ketma-ketligining asosiy holati $|f(Y, X)\rangle$ sifatida saqlanadi.



2-rasm. 4×4 o'lchamdagi NEQR kvant tasviri

Shu tarzda, NEQR modeli pikselning yorqinligini va uning fazoviy joylashuvini aniq tarzda kvant registrida ifodalaydi, bu esa tasvirni qayta tiklash va kvant algoritmlari yordamida qayta ishlashni osonlashtiradi [5].



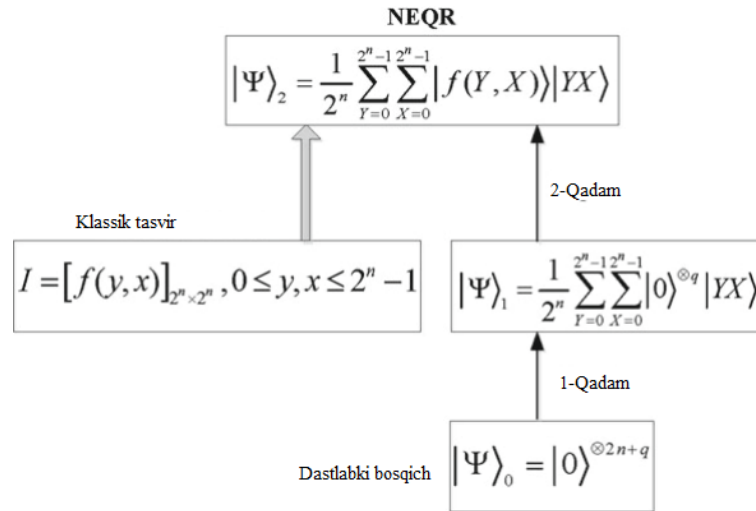
$$\begin{aligned} |I\rangle &= \frac{1}{2} (|0\rangle \otimes |00\rangle + |105\rangle \otimes |01\rangle + |221\rangle \otimes |10\rangle + |255\rangle \otimes |11\rangle) = \\ &= \frac{1}{2} (|00000000\rangle \otimes |00\rangle + |01101001\rangle \otimes |01\rangle + |11011101\rangle \otimes |10\rangle + \\ &+ |11111111\rangle \otimes |11\rangle) \end{aligned}$$

3-rasm. 2×2 o'lchamdagi tasvir va uning NEQR modeli orqali ifodalanishi

Yuqoridagi 2-rasmda 4×4 NEQR tasvir namunasi ko'rsatilgan. FRQI modeli bilan taqqoslaganda, aniq farq shundaki, NEQR FRQIdagi bitta kubitning ehtimollik amplitudasi o'rniga piksellarning kulrang shkalasini ifodalash uchun qubit ketma-ketligining asosiy holatidan foydalanadi [6].

NEQR modeli turli kulrang qiymatlarni aniq ajratib ko'rsatish imkonini beradi, chunki har bir pikselning kulrang qiymati qubit ketma-ketligining ortogonal asosiy holatlari orqali kodlanadi. Shu sababli, NEQR ning barcha samarali takomillashtirishlari va kuchli afzalliklari aynan ushbu ortogonal holatlar xususiyatiga tayanadi. Bu NEQR modelini FRQI kabi boshqa kvant tasvir modellari bilan solishtirganda sezilarli darajada samarali qiladi [4].

3-rasmda 2×2 o'lchamdagi kulrang tasvir va uning NEQR modeli orqali kvant holatida ifodalinishi ko'rsatilgan. Ushbu misolda, kulrang qiymatlar 0 dan 255 gacha bo'lgani uchun, har bir pikselning kulrang qiymatini saqlash uchun 8 ta qubit kerak. Shu sababli, $q + 2n$ qubit ishlatiladi, bu esa $2^n \times 2^n$ o'lchamdagi tasvirni 2^q kulrang diapazon bilan NEQR modelida aniq ifodalash imkonini beradi [5].



4-rasm. NEQR uchun kvant tasvir modelini tayyorlash ish jarayoni. Boshlang'ich holat $|\Psi\rangle_0$ ikki bosqich orqali NEQR modeliga aylantiriladi [5]

4 NATIJALAR TAHLILI

Tasvirni qayta ishlashdagi $q + 2n$ kubitlarni tayyorlash va ularning barchasini $|0\rangle$ ga o'rnatishdir. Boshlang'ich holatni (4) da quyidagicha ifodalash mumkin [1]:

$$|\Psi\rangle_0 = |0\rangle^{\otimes 2n+q}. \quad (4)$$

4-rasmda klassik tasviridan yangi kvant tasvir modelini tayyorlash jarayoni ko'rsatilgan. Ushbu rasmda tayyorgarlik ikki bosqichga bo'lingan.

1-qadam. Ushbu bosqichda bir-qubitli I va H geytlari qo'llanib, boshlang'ich holat $|\Psi\rangle_0$ bo'sh tasvirning barcha piksel koordinatalarining superpozitsiyasini hosil qiluvchi oraliq holat $|\Psi\rangle_1$ ga o'tkaziladi. Ushbu bosqichda piksellarning yorqinlik qiymatlari hali yuklanmagan bo'lib, faqat tasvirning fazoviy joylashuvi kvant registrlarida superpozitsiya shaklida tayyorlanadi [5].

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

1-bosqichdagi butun kvant amali (6) da U_1 sifatida ifodalanishi mumkin:

$$U_1 = I^{\otimes q} \otimes H^{\otimes 2n}. \quad (6)$$

(7) boshlang'ich $|\Psi\rangle_0$ holatidan oraliq $|\Psi\rangle_1$ holatiga o'tishni ifodalaydi. Ushbu bosqichdan so'ng, barcha piksellarning joylashuvi haqidagi ma'lumot NEQR kvant modelida saqlanadi [2].

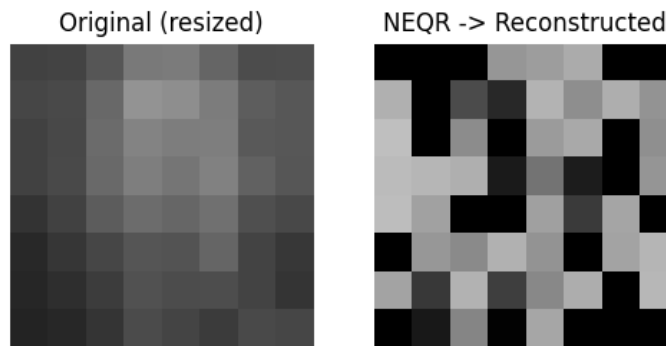
$$\begin{aligned}
 U_1(|\Psi\rangle_0) &= (I|0\rangle)^{\otimes q} \otimes (H|0\rangle)^{\otimes 2n} = \\
 &= \frac{1}{2^n} |0\rangle^{\otimes q} \otimes \sum_{i=0}^{2^{2n}-1} |i\rangle = \\
 &= \frac{1}{2^n} \sum_{Y=0}^{2^n-1} \sum_{X=0}^{2^n-1} |0\rangle^{\otimes q} |YX\rangle = |\Psi\rangle_1.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

2-qadam. Bu bosqichda tasvirni kvant ko'rinishida yaratish uchun har bir pikselning kulrang (gray-scale) qiymatini kvant registriga yozish kerak bo'ladi. Oraliq holat $|\Psi_1\rangle$ da barcha pikselar faqat koordinatalari bo'yicha superpozitsiyaga joylashtirilgan bo'ladi. Shu sababli, $2^{(2n)}$ ta pikselning har biri uchun alohida kvant sub-operatsiyasi bajarilishi talab etiladi. Har bir piksel (Y, X) uchun bajariladigan ushbu kvant amaliyoti U_{YX} bilan ifodalanadi (8) va u tegishli qubitlar ketma-ketligiga pikselning kulrang qiymatini kodlash vazifasini bajaradi [7]:

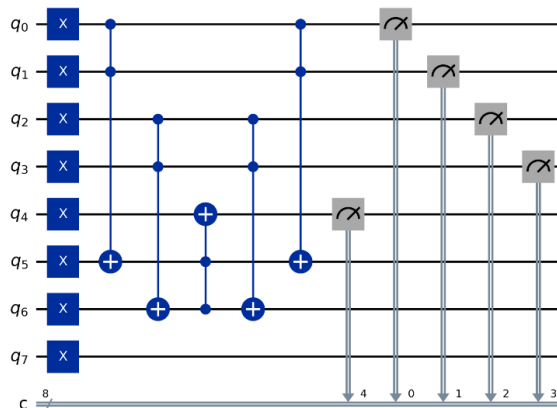
$$U_{YX} = (I \otimes \sum_{j=0}^{2^n-1} \sum_{i=0, i \neq j}^{2^n-1} |ji\rangle\langle ji|) + \Omega_{YX} \otimes |YX\rangle\langle YX|,
 \tag{8}$$

Ω_{YX} operatori piksel (Y, X) uchun kulrang qiymatni belgilashga mo'ljallangan kvant amaliyoti hisoblanadi. Ushbu amaliyot (9)-ifodada ko'rsatilgan bo'lib, NEQR modelida har bir pikselning yorqinlik qiymatini tegishli qubitlar ketma-ketligiga kodlash vazifasini bajaradi [6].

$$\Omega_{YX} = \bigotimes_{i=0}^{q-1} \Omega_{YX}^i.
 \tag{9}$$



5-rasm. NEQR asosida kvant holatga kodlangan va qayta tiklangan kulrang tasvir



6-rasm. NEQR modeli uchun kvant sxemasi CNOT geyti

Mazkur algoritm yordamida kulrang rangli (grayscale) tasvir NEQR (Novel Enhanced Quantum Representation) modeli asosida kvant holatga muvaffaqiyatli kodlandi va statevector orqali qayta tiklandi.

Tasvirning fazoviy koordinatalari kvant superpozitsiya holatiga keltirilgan bo'lib, har bir piksel intensivligi alohida kvant registrida aniq binar ko'rinishda ifodalandi [5].

6-rasmdagi sxema 4 ta control qubit va 1 ta target qubitga ega CNOT (4-control X-gate) amali uchun mo'ljallangan. CNOT amali ikkita ancilla qubit yordamida Toffoli (CCX)lar ketma-ketligi orqali dekompozitsiya qilingan [8]: avval control qubitlar kombinatsiyasi ancillalarga yoziladi, keyin ancillalar target qubitni boshqaradi, so'ng oraliq hisoblash bekor qilinadi (uncompute). Natijada target qubit faqat barcha control qubitlar $|1\rangle$ holatida bo'lganda o'z qiymatini o'zgartiradi. Sxema o'lchash bilan tugaydi va ishchi qubitlar holati registerga yoziladi [11].

5 XULOSA

Ushbu maqolada NEQR (Novel Enhanced Quantum Representation) modeli asosida klassik tasvirlarni kvant kompyuterlarida ifodalash va qayta ishlash masalasi atroflicha tahlil qilindi. NEQR yondashuvi piksel intensivliklarini to'g'ridan-to'g'ri kubitlarning binar holatlari orqali kodlashi bilan ajralib turadi, bu esa tasvirni aniqlik bilan saqlash va qayta tiklash imkonini beradi. Mazkur model kvant parallelizmidan samarali foydalanish orqali kontur ajratish, statistik tahlil va histogram qurish kabi tasvirga ishlov berish amallarini tez va aniq bajarishga imkon yaratadi. Tadqiqot natijalari NEQR modelining kvant tasvirga ishlov berish algoritmlari uchun qulay va istiqbolli yechim ekanligini ko'rsatadi hamda kelgusida murakkab kvant tasvir algoritmlarini ishlab chiqishda muhim asos bo'lib xizmat qiladi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, kvant holatdan tiklangan tasvir dastlabki rasm bilan piksel darajasida to'liq mos keladi, ya'ni NEQR modeli tasvir intensivligini yo'qotishsiz (lossless) saqlash imkonini beradi. Bu xususiyat NEQR ni kvant tasvirlarga dastlabki ishlov berish, masalan, filtratsiya, chekka aniqlash va kvant asosidagi tasvir tahlili algoritmlari uchun qulay modelga aylantiradi.

Shuningdek, ushbu tajriba NEQR modelining nazariy jihatdan samarali ekanligini tasdiqlaydi, biroq amaliy jihatdan qubitlar sonining tez o'sishi va ko'p boshqaruvli kvant geytlarining murakkabligi hozirgi kvant qurilmalarida uni to'liq amalga oshirishni cheklab qo'yadi. Shunga qaramay, simulyatsiya muhitida olingan natijalar NEQR ning kvant tasvirlarni aniq ifodalashdagi muhim imkoniyatlarini yaqqol namoyon etadi.

ADABIYOTLAR

- [1] *Yue Ruan, Xiling Xue, and Yuanxia Shen.* Quantum image processing: Opportunities and challenges. *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2021, Issue 1. –2021.
- [2] *Fei Yan, Abdullah M Ilyasu, and Salvador E Venegas-Andraca.* A survey of quantum image representations. *Quantum Information Processing*, 15(1):1–35, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11128-015-1195-6>.
- [3] *Salvador E Venegas-Andraca and Sougato Bose.* Storing, processing, and retrieving an image using quantum mechanics. In Eric Donkor, Andrew R. Pirich, and Howard E. Brandt, editors, *Quantum Information and Computation*, volume 5105, pages 137 – 147. International Society for Optics and Photonics, SPIE, 2003.
- [4] *Phuc Q Le, Fangyan Dong, and Kaoru Hirota.* A flexible representation of quantum images for polynomial preparation, image compression, and processing operations. *Quantum Information Processing*, 10(1):63–84, 2011.
- [5] *Yi Zhang Kai Lu Yinghui Gao Mo Wang.* NEQR: a novel enhanced quantum representation of digital images. *Quantum Inf Process* (2013) 12:2833–2860 DOI 10.1007/s11128-013-0567-z.
- [6] *Venegas-Andraca, S.E., Bose, S.* Storing, processing and retrieving an image using quantum mechanics. *Proceeding of the SPIE Conference Quantum Information and Computation*, pp. 137–147.
- [7] *Venegas-Andraca, S.E., Ball, J.L., Burnett, K., Bose, S:* Processing images in entangled quantum systems. *Quantum Inform. Process.* 9, 1–11 (2010).
- [8] *Latorre, J.I.* Image compression and entanglement. *Journal of Quantum Information Science*, Vol.2 No.3, September 28, 2012 DOI:10.48550/arXiv.quant-ph/0510031.
- [9] *Le, P.Q., Dong, F., Hirota, K.:* A flexible representation of quantum images for polynomial preparation, image compression, and processing operations. *Quantum Inform. Process.* Volume 10, pages 63-84. 2011.
- [10] *Tseng, C.-C., Hwang, T.-M.:* Quantum digital image processing algorithms. 16th IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing, Kinmen, 17-19 August 2003, 827-834.
- [11] *J. Biamonte, P. Wittek, N. Pancotti, P. Rebentrost, N. Wiebe, and S. Lloyd.* "Quantum machine learning," *Nature*, vol. 549, no. 7671, pp. 195–202, 2017.
- [12] *Le, P.Q., Dong, F., Hirota, K.* A flexible representation of quantum images for polynomial preparation, image compression and processing operations. *Quantum Inform. Process.* 10(1), 63–84.

- [13] *Xi-Wei Yao, Hengyan Wang, Zeyang Liao, Ming-Cheng Chen, Jian Pan, Jun Li, Kechao Zhang, Xingcheng Lin, Zhehui Wang, Zhihuang Luo, and et al.* Quantum image processing and its application to edge detection: Theory and experiment. *Physical Review X*, 7(3), Sep 2017.
- [14] *Sysoev S.S.* Introduction to Quantum Computing. Quantum algorithms: textbook. allowance. – St. Petersburg.: Publishing house St. Petersburg. University, – 144 p. 2019.
- [15] Get started with IBM Quantum Experience [Электронный ресурс]. – URL: <https://quantum-computing.ibm.com/docs> (дата обращения 10.10/2020).
- [16] *D T Mukhamedieva and R A Sobirov.* Application of quantum computing in image processing for recognition of infectious diseases of wheat. *BIO Web of Conferences* 95, 01003 (2024). <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249501003>.

Поступила в редакцию 12.09.2025

Citation: *Sobirov R.A., Muxamediyeva D.T., Bobomurodov O.J.* (2025). NEQR modeli asosida tasvirni kvant formatga o'tkazish. Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari xalqaro jurnali. 9(1). – B. 57-63. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v9i1.323>.

TRANSFORMATION OF IMAGES INTO A QUANTUM REPRESENTATION BASED ON THE NEQR MODEL

Sobirov R.A.¹, Mukhamedieva D.T.¹, Bobomurodov O.J.²

¹Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers National Research University, Tashkent, Uzbekistan

²Kazan Federal University, Kazan, Russia

Abstract. This article provides a comprehensive overview of the NEQR (Novel Enhanced Quantum Representation) model, designed for processing classical images on quantum computers. NEQR encodes image pixels directly as binary qubit values (bit to bit), not through amplitude. This approach is very convenient for tasks such as image definition, contour separation, averaging, and histogram construction, and speeds up the calculation process several times through quantum parallelism. The article discusses the mathematical foundations of NEQR, algorithmic structure, qubit addressing, and the stages of forming the NEQR format using a real image as an example.

Keywords: image, quantum image, pixel, NEQR, FRQI, CNOT gate, superposition, qubit, machine learning, intensity.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КВАНТОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ NEQR

Собиров Р.А.¹, Мухамедиева Д.Т.¹, Бобомуродов О.Ж.²

¹Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и сельскохозяйственной механизации», Ташкент, Узбекистан

²Казанский федеральный университет, Казань, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье подробно рассматривается модель NEQR (Novel Enhanced Quantum Representation), разработанная для обработки классических изображений на квантовых компьютерах. NEQR кодирует пиксели изображения не по амплитуде, а непосредственно в виде двоичных значений кубитов (бит к биту). Такой подход очень удобен для таких задач, как определение изображения, разделение контуров, усреднение и построение гистограмм, и многократно ускоряет вычислительный процесс за счет квантового параллелизма. В статье рассматриваются математические основы NEQR, алгоритмическая структура, адресация кубитов и этапы формирования формата NEQR на примере реального изображения.

Ключевые слова: изображение, квантовое изображение, пиксель, NEQR, FRQI, вентиль CNOT, суперпозиция, кубит, машинное обучение, интенсивность.